

**Family list**

**1** application(s) for: **JP7235498 (A)**

**1 FORMATION OF CRYSTALLINE SILICON FILM**

**Inventor:** KODAMA NORIYUKI

**Applicant:** NIPPON ELECTRIC CO

**EC:**

**IPC:** H01L27/146; H01L21/20; H01L21/205; (+6)

**Publication info:** JP7235498 (A) — 1995-09-05

JP2817613 (B2) — 1998-10-30

---

Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

# FORMATION OF CRYSTALLINE SILICON FILM

**Publication number:** JP7235498 (A)

**Publication date:** 1995-09-05

**Inventor(s):** KODAMA NORIYUKI

**Applicant(s):** NIPPON ELECTRIC CO

**Classification:**

- international: H01L27/146; H01L21/20; H01L21/205; H01L21/268;  
H01L27/146; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/205; H01L21/268;  
H01L27/146

- European:

**Application number:** JP19940024592 19940223

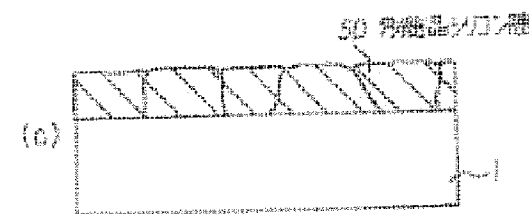
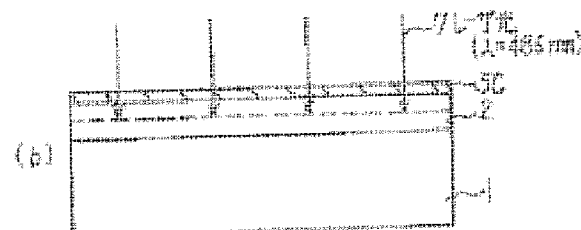
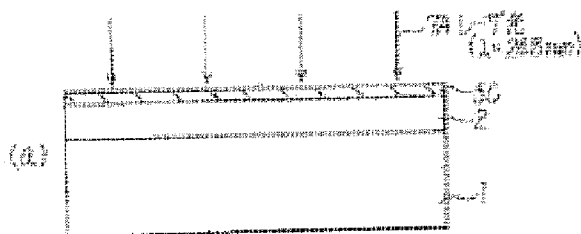
**Priority number(s):** JP19940024592 19940223

**Also published as:**

JP2817613 (B2)

## Abstract of JP 7235498 (A)

**PURPOSE:** To prevent the roughness of the surface when crystallizing amorphous silicon by laser annealing to form a polycrystalline silicon film.  
**CONSTITUTION:** An amorphous silicon film 2 on a glass substrate 1 is irradiated with KrF excimer laser light 7A, 248nm in wavelength, and its uppermost part approx. 30nm from the surface is crystallized. In the second irradiation, KrF excimer laser with a wavelength of 486nm is used. This wavelength makes the laser light 7 pass through the polycrystalline silicon film 5C and allows almost all of it to be absorbed in the amorphous silicon film 2. That selectively rises the temperature of the amorphous silicon film 2 on the base side, and melts and crystallizes it, and consequently obtains a polycrystalline silicon film 5D having a flat surface.



Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-235498

(43) 公開日 平成7年(1995)9月5日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/205

21/268

27/146

Z

7376-4M

H 0 1 L 27/14

C

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平6-24592

(22) 出願日 平成6年(1994)2月23日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 児玉 紀行

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

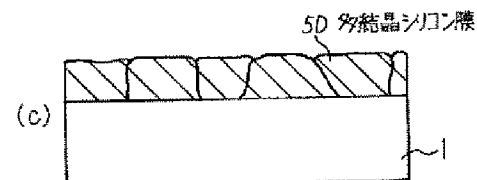
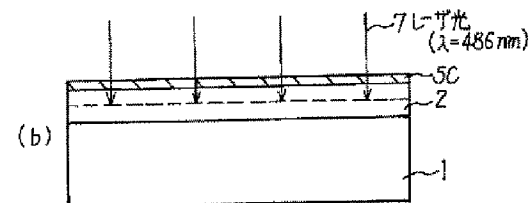
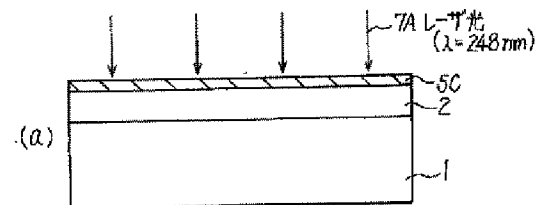
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

## (54) 【発明の名称】 結晶シリコン膜の形成方法

## (57) 【要約】

【目的】 レーザアニール法で非晶質シリコンを結晶化し多結晶シリコン膜を形成する場合の表面荒れを防ぐ。

【構成】 ガラス基板1上の非晶質シリコン膜2に波長248nmのKrFエキシマレーザー光7Aを照射し、表面から30nm程度を結晶化する。更に2回目の照射では、波長486nmのKrFエキシマレーザーを用いる。この波長でレーザー光7は多結晶シリコン膜5Cを透過し、非晶質シリコン膜2内の領域でほとんど吸収され、下地側の非晶質シリコン膜2が選択的に温度上昇し溶解、結晶化するので、表面の平坦な多結晶シリコン膜5Dが形成できる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成された非晶質シリコン膜にレーザ光を照射して結晶化する結晶シリコン膜の形成方法において、非晶質シリコン膜における消衰係数が結晶シリコン膜における消衰係数より大きな波長のレーザ光を用いることを特徴とする結晶シリコン膜の形成方法。

【請求項 2】 基板上に形成された非晶質シリコン膜にレーザ光を照射して結晶化する結晶シリコン膜の形成方法において、非晶質シリコン膜における消衰係数の大きなレーザ光を非晶質シリコン膜に照射して該非晶質シリコン膜の表面のみを結晶化した後に、結晶シリコン膜における消衰係数が小さく非晶質シリコン膜における消衰係数が大きなレーザ光を照射して、前記非晶質シリコン膜全体を結晶化することを特徴とする結晶シリコン膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は結晶シリコン膜の形成方法に関し、特にレーザアニール法を用いる結晶シリコン膜の形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】結晶シリコン膜、例えば多結晶シリコン膜は、液晶表示装置、イメージセンサ、一般の半導体装置等に多く用いられるようになってきている。

【0003】液晶表示装置は、駆動回路として透明基板上に形成した多結晶シリコン膜を活性層として薄膜トランジスタを形成するものであり、品質の高い液晶表示装置を得るためには多結晶シリコン膜の結晶性を向上させることが必須となっている。また、製造コストの面からは耐熱温度 600℃程度の安価なガラス基板を用いる必要性から、プロセス温度を 600℃以下とするいわゆる低温プロセスが検討され実施されている。

【0004】多結晶シリコン膜は主に減圧化学気相成長（LPCVD）法で形成されるが、600℃以上の高温プロセスとなるため、ガラス基板を用いることはできない。このため、非晶質シリコン膜にレーザ光を照射して多結晶化する方法が一般に用いられている。以下図 4 を用いて説明する。

【0005】まず図 4（a）に示すように、耐熱温度が約 600℃のガラス基板 1 上に LPCVD 法を用い 500℃程度の成長温度で、非晶質シリコン膜 2 を厚さ約 100nm 堆積する。そののち、シリコン膜に対する消衰係数の大きい短波長レーザ、例えば、XeCl エキシマレーザ光を照射する。非晶質シリコン膜 2 では、膜表面から 10nm 以内の表面領域 3 でレーザ光がほとんど吸収され、この領域の温度が上昇して溶融が始まる。

【0006】レーザ光照射がさらに続けると、図 4（b）に示すように、溶融領域 4 が拡大し、レーザ光の照射エネルギーが十分大きいと、膜全体が溶融し、図 4（c）のように、膜全体が溶融シリコン層となる。

【0007】レーザ光の照射が終わると、図 4（d）に示すように、膜が冷却され溶融シリコンが結晶化して、多結晶シリコン膜 5 が形成される。

【0008】以上の工程を用いて作成した多結晶シリコン膜 5 は、通常の LPCVD 法で作成されたものに比べて結晶欠陥が少なく、これを薄膜トランジスタの活性層に用いることにより、トランジスタ特性を大きく向上させることができる。イメージセンサ等の場合においてもほぼ同様の工程が用いられる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】非晶質シリコン膜をレーザアニールする場合には、溶融したシリコン層が結晶化する時に移動するため、図 4（d）に示したように、多結晶シリコン膜 5 に 30nm 程の表面荒れやうねりが生じる。

【0010】表面荒れを防ぐ方法として従来は、図 5（a）に示すように、非晶質シリコン膜 2 上に 500℃以下の低温で透明で除去が容易なシリコン酸化膜 6 を堆積してキャップした後に、レーザアニールすることにより、表面での溶融シリコンの結晶化時の移動を防ぐ方法が提案され実施されている。しかし、この方法では、図 5（b）に示すように、非晶質シリコン膜の溶融時にキャップ酸化膜 6 から酸素 9 が溶融シリコン層 4 内に拡散して、多結晶シリコン膜中の酸素濃度が上昇し、トランジスタ特性を低下させるという問題がある。

【0011】また、キャップ酸化膜 6 を用いた場合には、レーザ光の照射（ショット）回数が多くなるにつれて、溶融シリコンの移動度が大きく低下するので、ショットを連続させ照射領域を移動させてウエハ全面を結晶化する必要がある。照射領域の隅ではショットが 4 回重なるが、このショットの重なる領域では酸素の拡散が多くなるため多結晶シリコン膜の特性が低下し、トランジスタ特性のばらつきの原因となる。

【0012】本発明の目的は、トランジスタ特性のばらつきを少なくするための結晶シリコン膜の形成方法を提供することにある。

【0013】本発明の他の目的は、表面荒れのない結晶シリコン膜の形成方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】第 1 の発明の結晶シリコン膜、例えば多結晶シリコン膜の形成方法は、基板上に形成された非晶質シリコン膜にレーザ光を照射して結晶化する結晶シリコン膜の形成方法において、非晶質シリコン膜における消衰係数が結晶シリコン膜における消衰係数より大きな波長のレーザ光を用いることを特徴とするものである。

【0015】第 2 の発明の結晶シリコン膜、例えば多結晶シリコン膜の形成方法は、基板上に形成された非晶質シリコン膜にレーザ光を照射して結晶化する結晶シリコン膜の形成方法において、非晶質シリコン膜における消

衰係数の大きなレーザ光を非晶質シリコン膜に照射して該非晶質シリコン膜の表面のみを結晶化した後に、結晶シリコン膜における消費係数が小さく非晶質シリコン膜における消費係数が大きなレーザ光を照射して、前記非晶質シリコン膜全体を結晶化することを特徴とするものである。

#### 【0016】

【実施例】次に本発明を図面を用いて説明する。図1(a), (b)は本発明の第1の実施例を説明するための基板の断面図である。

【0017】まず図1(a)に示すように、ガラス基板上にLPCVD法を用いて、非晶質シリコン膜2を100nmの厚さに堆積したのち、その上にキャップ酸化膜6を100nmの厚さに堆積した。次に非晶質シリコン膜における消費係数の大きい波長のレーザ光を照射する。

【0018】図2に結晶シリコン膜および非晶質シリコン膜に対する消費係数 $k$ をしめす。波長400nmから500nmの間では、非晶質シリコン膜の消費係数が結晶シリコン膜の消費係数に比べて大きいので、この波長領域のレーザ光を多結晶シリコン膜に照射すると、ほとんど吸収されずに下地の基板へ透過し、非晶質シリコン膜に照射すると、表面から数10nm程度の深さでほとんど吸収される。

【0019】そこで、波長486nmのKrFエキシマレーザ光を用いて、非晶質シリコン膜2を結晶化した。レーザ光7の照射は、照射領域が重なるようにした。つまり、レーザ光照射の重ね合わせ領域の多結晶シリコン膜は溶融せず、非晶質シリコン膜2のみの溶融し結晶化がおこるように、照射エネルギーを $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度に設定した。

【0020】第1回目の照射によりその領域8Aの非晶質シリコン膜2は多結晶シリコン膜5Aとなり、第2回の照射によりその領域8Bの非晶質シリコン膜2は、図1(b)に示すように、多結晶シリコン膜5Bとなる。

【0021】この場合、レーザ照射の重なる領域の多結晶シリコン膜は溶融しないために、キャップ酸化膜6から、多結晶シリコン膜5A, 5Bへの酸素の拡散は起こらず、多結晶シリコン膜の特性の低下は起こらない。つまり、レーザ照射領域が重なって照射されても、多結晶シリコン膜の特性ばらつきは起こらないことになる。従ってこの多結晶シリコン膜を用いて液晶表示装置やイメージセンサのトランジスタを作った場合、トランジスタの特性のばらつきを小さくすることができる。

【0022】図3(a)～(c)は本発明の第2の実施例を説明するための基板の断面図である。

【0023】まず図3(a)に示すように、ガラス基板1上に、LPCVD法により非晶質シリコン膜2を100nmの厚さに堆積したのち、波長248nmのKrFエキシマレーザを光7Aを照射した。この波長のレーザ

光では、図2に示したように、非晶質及び結晶シリコン膜における消費係数が大きく、エネルギーはほぼ表面から10nm以内で全て吸収される。照射エネルギーを、 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度に設定することにより非晶質シリコン膜2の表面から30nm程度を結晶化し、多結晶シリコン膜5Cを形成した。この多結晶シリコン膜の表面は、膜全体が溶融しないので、比較的平坦で荒れは少ない。

【0024】更に2回目の照射では、波長486nmのKrFエキシマレーザ光7を用いた。この波長では、結晶シリコン膜での消費係数が小さく、ほぼ透明なので、レーザ光7は多結晶シリコン膜5Cを透過する。しかし、非晶質シリコン膜での消費係数は大きいため、レーザ光7は非晶質シリコン膜2と多結晶シリコン膜5Cの界面から40nm以内の領域でほとんど全て吸収される。つまり、2回目の照射では、下地側の非晶質部分が選択的に温度上昇でき、溶融、結晶化することになり、図3(c)に示すように、表面荒れの小さい多結晶シリコン膜5Dが形成できる。

【0025】以上述べたように、第2の実施例では、第1回目の照射により形成された表面の多結晶シリコン膜5Cがキャップ層になり、表面荒れを10nm以下に抑制することができる。しかも従来のキャップ酸化膜を用いたとき問題となった、酸素のシリコン膜中への混入は起こらないという利点がある。また、1回目の照射に際し、結晶シリコンでの消費係数が高いレーザ光を用いると、照射を繰り返しても、結晶化した領域が広がらないようにできるので、照射のかさなる領域での結晶性のばらつきを低減させることができる。

【0026】この第2の実施例の方法は、シリコンの非晶質部分にのみ吸収されるレーザ光を用いるという特徴を生かし、結晶性が良好でなく、非晶質相を持つ多結晶シリコン膜の膜質改善にも適用できる。例えばプラズマCVD法で形成された多結晶シリコン膜では、下地基板側に非晶質に近い結晶性の良好でない領域が存在する。この多結晶シリコン膜に波長486nmのKrFエキシマレーザを照射することにより、非晶質相に近い領域のみを選択的にアニールして、結晶性を改善することができる。

【0027】尚、上記実施例においてはガラス基板上に多結晶シリコン膜を形成する場合について説明したが、石英等他の絶縁基板を用いてもよいことは勿論である。

#### 【0028】

【発明の効果】以上述べたように第1の本発明は、非晶質シリコン膜における消費係数が結晶シリコン膜の消費係数より大きな波長のレーザ光を用いて、非晶質シリコンのみが溶融するエネルギー密度で、基板上に形成された非晶質シリコン膜をレーザアニールすることにより、レーザ照射の重なる多結晶シリコン膜の領域は溶融させずに、非晶質シリコン膜のみを結晶化できるため、

従来のようにキャップ酸化膜からの酸素のシリコン膜中への拡散を防止できるため、特性のばらつきの少い多結晶シリコン膜を容易に形成できる。この為トランジスタの特性のばらつきも小さくできる。

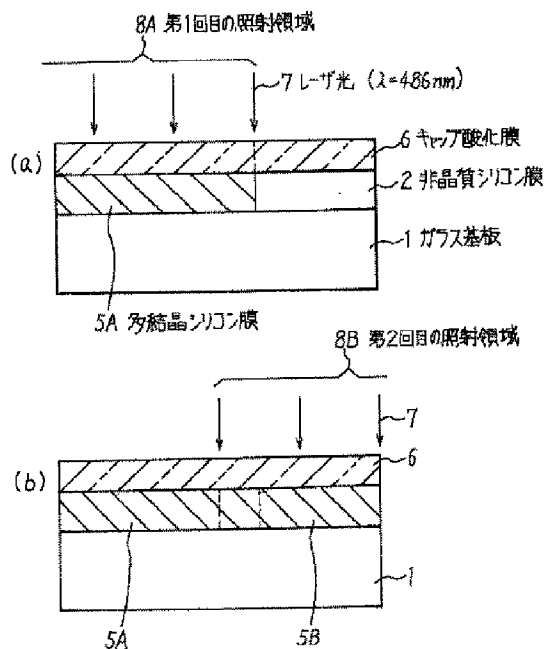
【0029】また第2の本発明は、非晶質シリコンを結晶化する工程で、非晶質シリコン膜の消費係数の大きなレーザ光を非晶質シリコン膜に照射して、その表面を結晶化した後に、結晶シリコン膜での消費係数が小さく非晶質シリコン膜の消費係数が大きなレーザ光を照射して、非晶質シリコン膜を選択的にアニールし膜全体を結晶化することにより、表面荒れの少い多結晶シリコン膜を容易に形成できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

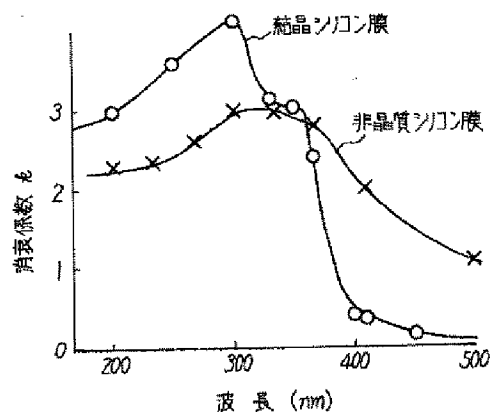
【図1】本発明の第1の実施例を説明するための基板の断面図。

【図2】結晶シリコン膜及び非晶質シリコン膜に対する光の波長と消費係数との関係を示す図。

【図1】



【図2】



【図3】本発明の第2の実施例を説明するための基板の断面図。

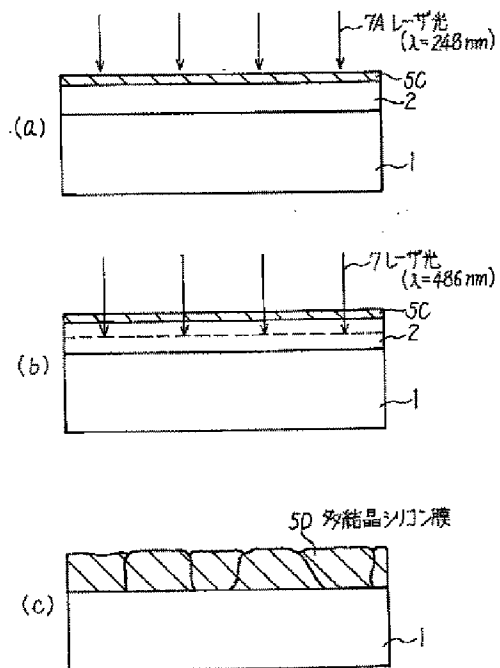
【図4】従来の多結晶シリコン膜の形成方法を説明するための基板の断面図。

【図5】従来の他の多結晶シリコン膜の形成方法を説明するための基板の断面図。

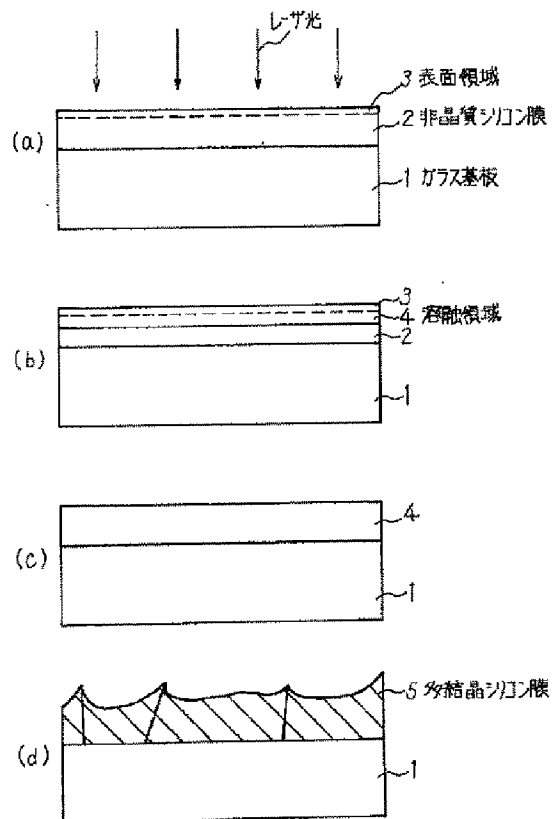
【符号の説明】

- 1 ガラス基板
- 2 非晶質シリコン膜
- 3 表面領域
- 4 熔融領域
- 5, 5A～5D 多結晶シリコン膜
- 6 キャップ酸化膜
- 7, 7A レーザ光
- 8A, 8B 照射領域
- 9 酸素

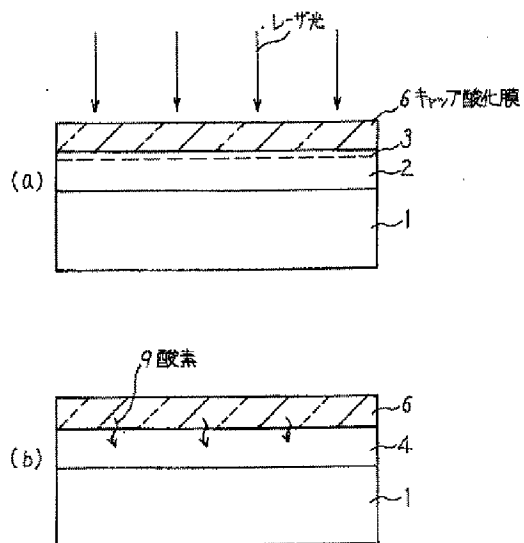
【図3】



【図4】



【図5】



(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Patent Laid-open Official Gazette (A)

(11) Patent Application Publication Number: Hei 7-235498

(43) Date of Publication of Application: September 5, Heisei 7 (1995)

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> Identification Number JPO file number FI

H01L 21/205

21/268

Z

27/146

7376-4M

H01L 27/14 C

Technology Indication Part

Request for Examination: not made The Number of Claims: 2 OL (5 pages in total)

(21) Application Number: Hei 6-24592

(22) Filing Date: February 23, Heisei 6 (1994)

(71) Applicant: 000004237

NEC Corporation

7-1, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo

(72) Inventor: Noriyuki KODAMA

c/o NEC Corporation

7-1, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo

(74) Agent: Patent attorney: Naoki KYOMOTO (two others)

(54) [Title of the Invention] METHOD FOR FORMING CRYSTALLINE SILICON FILM

(57) [Abstract]

[Object] To prevent surface roughness in the case that a polycrystalline silicon film is formed by crystallizing amorphous silicon using a laser annealing method.

[Constitution] An amorphous silicon film 2 over a glass substrate 1 is irradiated with KrF excimer laser light 7A with a wavelength of 248 nm to be crystallized approximately 30 nm from a surface. Furthermore, a KrF excimer laser with a



wavelength of 486 nm is used in the second irradiation. Laser light 7 with this wavelength passes through a polycrystalline silicon film 5C and is almost absorbed in a region in the amorphous silicon film 2, so that the amorphous silicon film 2 on the base side has selective rise of temperature to be melted and crystallized, and consequently a polycrystalline silicon film 5D having a flat surface can be formed.

[Scope of Claims]

[Claim 1] A method for forming a crystalline silicon film wherein an amorphous silicon film formed over a substrate is irradiated with laser light to be crystallized, characterized in that laser light with a wavelength with which extinction coefficient in an amorphous silicon film is higher than extinction coefficient in a crystalline silicon film is used.

[Claim 2] A method for forming a crystalline silicon film wherein an amorphous silicon film formed over a substrate is irradiated with laser light to be crystallized, characterized in that the amorphous silicon film is irradiated with laser light having high extinction coefficient in the amorphous silicon film to crystallize only a surface of the amorphous silicon film, and subsequently the amorphous silicon film is irradiated with laser light having extinction coefficient which is low in the crystalline silicon film and high in the amorphous silicon film to crystallize the whole amorphous silicon film.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Field of the Invention]

The present invention relates to a method for forming a crystalline silicon film, and particularly to a method for forming a crystalline silicon film using a laser annealing method.

[0002]

[Conventional Art]

A crystalline silicon film, for example a polycrystalline silicon film has been frequently used in liquid crystal display devices, image sensors, general semiconductor devices and the like.

[0003]

In the liquid crystal display device, as a driving circuit, a thin film transistor is formed using a polycrystalline silicon film formed over a transparent substrate as an active layer, and so it is essential that crystallinity of the polycrystalline silicon film should be improved to obtain a liquid crystal display device with high quality. Moreover, since it is necessary to use a low-priced glass substrate of which heat-resisting temperature is approximately 600°C from the aspect of the production cost, a so-called low-temperature process in which process temperature is 600°C or less has been studied and practically used.

[0004]

The polycrystalline silicon film is formed mainly using a low pressure chemical vapor deposition (LPCVD) method, however the process is performed at high temperature of 600°C or more, so that a glass substrate cannot be used. Consequently, a method for polycrystallization in which an amorphous silicon film is irradiated with laser light is generally used. Hereinafter description is made referring to Fig. 4.

[0005]

First as shown in Fig. 4 (a), an amorphous silicon film 2 is deposited to have a thickness of approximately 100 nm over a glass substrate 1 of which heat-resisting temperature is approximately 600°C using an LPCVD method at growth temperature of approximately 500°C. After that, irradiation by a short wavelength laser having high extinction coefficient with respect to the silicon film, for example XeCl excimer laser light is carried out. In the amorphous silicon film 2, most of the laser light is absorbed in a surface region 3 within 10 nm from a film surface, and the temperature of the region rises and melting is started.

[0006]

In the case that the laser light irradiation is further continued, a melted region 4 is enlarged as shown in Fig. 4 (b), and in the case that the laser light irradiation energy is high enough, the whole film is melted, and the whole film becomes a melted silicon layer as shown in Fig. 4 (c).

[0007]

When the laser light irradiation is finished, as shown in Fig. 4 (d), the film is cooled down and the melted silicon is crystallized, so that a polycrystalline silicon film 5 is formed.

[0008]

The polycrystalline silicon film 5 formed through the aforementioned process has fewer crystal defects than that formed using a normal LPCVD method, and it is used for an active layer of a thin film transistor, so that transistor characteristic can be substantially improved. In the case of an image sensor or the like, the almost similar process is used.

[0009]

[Problems to be Solved by the Invention]

In the case of laser-annealing the amorphous silicon film, the melted silicon layer is moved while it is crystallized, so that surface roughness or undulation of approximately 30 nm is caused in the polycrystalline silicon film 5 as shown in Fig. 4 (d).

[0010]

As the conventional method for preventing the surface roughness, as shown in Fig. 5 (a), a method is proposed and used in which a silicon oxide film 6 which is transparent and easily removed is deposited over an amorphous silicon film 2 at the low temperature of 500°C or less to cap it, and subsequently laser-annealing is carried out, so that the melted silicon is prevented from moving on the surface at crystallization. However, in the method, as shown in Fig. 5 (b), the problem arises that oxygen 9 is diffused from the cap oxide film 6 into a melted silicon layer 4 while the amorphous silicon film is melted, and concentration of oxygen in the polycrystalline silicon film is increased, so that the transistor characteristic is deteriorated.

[0011]

Furthermore, in the case that the cap oxide film 6 is used, since mobility of the melted silicon is decreased significantly as the number of times of laser light

irradiation (shots) is increased, it is necessary to crystallize an entire surface of a wafer by continuous shots and moving an irradiated region. Four times of shots are overlapped in a corner of the irradiated region. In the region where shots are overlapped, diffusion of oxygen is increased to deteriorate the characteristic of the polycrystalline silicon film, and consequently causes fluctuation of the transistor characteristic.

[0012]

The present invention has an object to provide a method for forming a crystalline silicon film for decreasing fluctuation of a transistor characteristic.

[0013]

The present invention has another object to provide a method for forming a crystalline silicon film having no surface roughness.

[0014]

[Means for Solving the Problems]

A method for forming a crystalline silicon film, for example a polycrystalline silicon film of a first invention wherein an amorphous silicon film formed over a substrate is irradiated with laser light to be crystallized is characterized in that laser light with a wavelength with which extinction coefficient in an amorphous silicon film is higher than extinction coefficient in a crystalline silicon film is used.

[0015]

A method for forming a crystalline silicon film, for example a polycrystalline silicon film of a second invention wherein an amorphous silicon film formed over a substrate is irradiated with laser light to be crystallized is characterized in that an amorphous silicon film is irradiated with laser light having high extinction coefficient in the amorphous silicon film to crystallize only a surface of the amorphous silicon film, and subsequently the amorphous silicon film is irradiated with laser light having extinction coefficient which is low in the crystalline silicon film and high in the amorphous silicon film to crystallize the whole amorphous silicon film.

[0016]

[Embodiment]

Next, the present invention is described referring to the drawings. Figs. 1 (a) and (b) are cross-sectional views of a substrate for describing a first embodiment of the present invention.

[0017]

First as shown in Fig. 1 (a), after an amorphous silicon film 2 was deposited to have a thickness of 100 nm over a glass substrate 1 using an LPCVD method, a cap oxide film 6 was deposited thereover to have a thickness of 100 nm. Next, irradiation by laser light with a wavelength with which extinction coefficient in the amorphous silicon film is high is carried out.

[0018]

Extinction coefficients  $k$  in a crystalline silicon film and an amorphous silicon film are shown in Fig. 2. Since the extinction coefficient in the amorphous silicon film is higher than the extinction coefficient of the crystalline silicon film at wavelengths in the range of 400 nm to 500 nm, in the case that the polycrystalline silicon film is irradiated with laser light in this wavelength region, the laser light is scarcely absorbed and passes through the substrate of a base, and in the case that the amorphous silicon film is irradiated with laser light in this wavelength region, the laser light is almost entirely absorbed at a depth of approximately several 10 nm from the surface.

[0019]

Accordingly, the amorphous silicon film 2 was crystallized using KrF excimer laser light with a wavelength of 486 nm. The irradiation by laser light 7 was carried out such that the irradiated regions were overlapped. That is, irradiating energy was set to approximately  $400 \text{ mJ/cm}^2$  such that the polycrystalline silicon film in the overlapped region of the laser light irradiation was not melted and only the amorphous silicon film 2 was melted and crystallized.

[0020]

Owing to the first irradiation, a region 8A in the amorphous silicon film 2 subjected to the first irradiation becomes a polycrystalline silicon film 5A, and

owing to the second irradiation, a region 8B in the amorphous silicon film 2 subjected to the second irradiation becomes a polycrystalline silicon film 5B as shown in Fig. 1 (b).

[0021]

In this case, since the polycrystalline silicon film in the region where laser irradiation is overlapped is not melted, diffusion of oxygen from the cap oxide film 6 to the polycrystalline silicon films 5A and 5B is not caused, so that a characteristic of the polycrystalline silicon film is not deteriorated. That is, even in the case that the irradiation is carried out such that the laser irradiated regions are overlapped, the characteristic of the polycrystalline silicon film is not fluctuated. Therefore, in the case that a transistor of a liquid crystal display device or an imager sensor is formed using the polycrystalline silicon film, fluctuation of the transistor characteristic can be decreased.

[0022]

Figs. 3 (a) ~ (c) are cross-sectional views of a substrate for describing a second embodiment of the present invention.

[0023]

First as shown in Fig. 3 (a), after an amorphous silicon film 2 was deposited to have a thickness of 100 nm over a glass substrate 1 using an LPCVD method, irradiation by light 7A of a KrF excimer laser with a wavelength of 248 nm was carried out. In the laser light with this wavelength, as shown in Fig. 2, the extinction coefficients in the amorphous and crystalline silicon films are high, and most of the energy is absorbed within 10 nm from a surface. The amorphous silicon film 2 was crystallized approximately 30 nm from the surface by setting irradiating energy to be approximately  $200 \text{ mJ/cm}^2$ , so that a polycrystalline silicon film 5C was formed. A surface of the polycrystalline silicon film is relatively flat and is not so rough because the film is not entirely melted.

[0024]

Further KrF excimer laser light 7 with a wavelength of 486 nm was used in the second irradiation. In this wavelength, since the extinction coefficient in the

crystalline silicon film is low and the crystalline silicon film is almost transparent, the laser light 7 passes through the polycrystalline silicon film 5C. However, since the extinction coefficient in the amorphous silicon film is high, the laser light 7 is almost entirely absorbed in a region within 40 nm from an interface between the amorphous silicon film 2 and the polycrystalline silicon film 5C. That is, in the second irradiation, an amorphous portion on the base side has selective rise of temperature to be melted and crystallized, and as shown in Fig. 3 (c), the polycrystalline silicon film 5D having a surface which is not so rough can be formed.

[0025]

As aforementioned, in the second embodiment, the polycrystalline silicon film 5C formed over the surface by the first irradiation becomes a cap layer, so that surface roughness can be restrained to 10 nm or less. In addition, there is an advantage that mixture of oxygen into the silicon film which is a problem in using the conventional cap oxide film is not caused. Furthermore, in the first irradiation, in the case that laser light having high extinction coefficient in crystalline silicon is used, it is possible to suppress enlargement of a crystallized region even if irradiation is repeated, so that fluctuation of crystallinity in a region where irradiation is overlapped can be decreased.

[0026]

The method of the second embodiment can be applied for improvement of film quality in a polycrystalline silicon film having inferior crystallinity and an amorphous phase by utilizing the characteristics in which laser light that is absorbed only in an amorphous portion of silicon is used. For example, in a polycrystalline silicon film formed using a plasma CVD method, a region having inferior crystallinity which is nearly amorphous exists on the side of the base substrate. By irradiating the polycrystalline silicon film with the KrF excimer laser with a wavelength of 486 nm, only the region that is a nearly amorphous phase is selectively annealed, and the crystallinity can be improved.

[0027]

Note that, the case of forming the polycrystalline silicon film over the glass substrate is described in the above embodiment, however, the other insulating substrate such as quartz may be also used.

[0028]

[Effects of the invention]

As stated above, according to the first present invention, the amorphous silicon film formed over the substrate is laser-annealed using laser light with a wavelength with which the extinction coefficient in the amorphous silicon film is higher than the extinction coefficient in the crystalline silicon film with the energy density with which only amorphous silicon is melted, so that only the amorphous silicon film can be crystallized without melting the region of the polycrystalline silicon film in which the laser irradiation is overlapped. Accordingly, diffusion of oxygen from the cap oxide film into the silicon film as in the conventional case can be prevented, so that the polycrystalline silicon film in which the fluctuation of the characteristic is decreased can be easily formed. Consequently, the fluctuation of the transistor characteristic can be decreased.

[0029]

Further in the second present invention, an advantage is brought about that the polycrystalline film having a surface which is not so rough can be easily formed in the following manner: in the step of crystallizing the amorphous silicon, after the amorphous silicon film is irradiated with the laser light having high extinction coefficient in the amorphous silicon film and a surface thereof is crystallized, the amorphous silicon film is selectively annealed by irradiation with laser light having the extinction coefficient which is low in the crystalline silicon film and is high in the amorphous silicon film, and the whole film is crystallized.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] Cross-sectional views of a substrate for describing a first embodiment of the present invention.

[Fig. 2] A diagram showing the relation between a wavelength of light and extinction coefficient of a crystalline silicon film and an amorphous silicon film.



[Fig. 3] Cross-sectional views of a substrate for describing a second embodiment of the present invention.

[Fig. 4] Cross-sectional views of a substrate for describing a method for forming the conventional polycrystalline silicon film.

[Fig. 5] Cross-sectional views of a substrate for describing the other conventional method for forming a polycrystalline silicon film.

[Explanation of Reference Numerals]

- 1        glass substrate
- 2        amorphous silicon film
- 3        surface region
- 4        melted region
- 5, 5A ~ 5D        polycrystalline silicon film
- 6        cap oxide film
- 7, 7A        laser light
- 8A, 8B        irradiated region
- 9        oxygen